



ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 3 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Научно-технический журнал

Выпуск 4(180) 2020

ELECTRONIC ENGINEERING

SERIES 3 MICROELECTRONICS

Scientific & Technical Journal

Выпуск 4(180) 2020

Москва, 2020



«ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА.**Серия 3.****МИКРОЭЛЕКТРОНИКА»****Редакционный совет****Главный редактор****Красников Г. Я.**, д. т. н.,
академик РАН**Члены редакционного совета****Асеев А. Л.**, д. ф.-м. н.,

академик РАН

Бетелин В. Б., д. ф.-м. н.,

академик РАН

Бокарев В. П., к. х. н.,

ответственный секретарь

Бугаев А. С., д. ф.-м. н.,

академик РАН

Быков В. А., д. т. н.**Галиев Г. Б.**, д. ф.-м. н.**Горбачевич А. А.** д. ф.-м. н.,

академик РАН

Горнев Е. С., д. т. н.,

член-корреспондент РАН,

зам. главного редактора

Грибов Б. Г., д. х. н.,

член-корреспондент РАН

Зайцев Н. А., д. т. н.**Ким А. К.**, к. т. н.**Критенко М. И.**, к. т. н.**Петричкович Я. Я.**, д. т. н.**Сигов А. С.**, д. ф.-м. н.,

академик РАН

Стемпковский А. Л., д. т. н.,

академик РАН

Чаплыгин Ю. А., д. т. н.,

академик РАН

Шелепин Н. А., д. т. н.,

зам. главного редактора

Эннс В. И., к. т. н.**Адрес редакции**✉ Россия, 124460, Москва,
Зеленоград, улица Академика
Валиева, дом 12, стр. 1

☎ +7 495 229-70-43

✉ journal_EEM-3@mikron.ru

www.niime.ru/

zhurnal-mikroelektronika

Журнал издается с 1965 года

УчредительАО «Научно-исследовательский
институт молекулярной
электроники»**Слово редактора** 4**Разработка и конструирование****С.В. Волобуев, В.Г. Рябцев**Особенности имплементации средств саморемонта оперативной
памяти в ПЛИС семейства Spartanze 5**С.В. Калиниченко, Ю.С. Балашов, С.А. Белоусов, А.С. Шнайдер,
Д.Г. Харин**Метод дискретной лазерной коррекции резисторных матриц цифро-
аналогового преобразователя для уменьшения нелинейности 10**Процессы и технология****А.А. Конарев, Д.А. Варламов, Б.Г. Грибов**Получение концентрата тетраметиламмония гидроксида
с использованием катодов из различных конструкционных
материалов 19**И.И. Амиров, М.О. Изюмов, А.Н. Куприянов***In situ* контроль развития шероховатости поверхности кремния
при травлении в хлорсодержащей плазме 26**Свойства материалов****Н.А. Кузнецова, В.И. Беклемышев, Б.Г. Грибов**Влияние фотогенератора кислоты в антиотражающем покрытии
на профиль элементов, формируемых в фоторезисте 35**В.В. Черняк, Л.И. Сорокина, Е.А. Лебедев, Ю.И. Шиляева**Получение и термические характеристики нанокompозита на
основе полидиметилсилоксана и наночастиц CuO_x 38**Математическое моделирование****В.Ю. Михайлов, Е.Ю. Котляров, И.А. Зубов, А.В. Нуйкин,
А.С. Кравцов**Аспекты проектирования приемо-передающего устройства
«Интернета вещей» 43**В.В. Бардушкин, Ю.И. Шиляева, В.Б. Яковлев**Моделирование объемной плотности энергии деформации
в анодном оксиде алюминия с порами, заполненными
поливинилиденфторидом 58**Аннотации** 64Журнал включен Всероссийской аттестационной комиссией (ВАК)
в число изданий, рекомендованных для публикации статей
соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук № 1969

**“ELECTRONIC ENGINEERING.
Series 3.
MICROELECTRONICS”**

**Editorial Council
Chief Editor**

G.Ya. Krasnikov, Sc. D.,
Full Member of the RAS

The Members of Editorial Council

Aseev A. L., Sc. D.,

Full Member of the RAS

Betelin V. B., Sc. D.,

Full Member of the RAS

Bokarev V. P., Ph.D.,

Responsible Secretary

Bugaev A. S., Sc. D.,

Full Member of the RAS

Bykov V. A., Sc. D.

Galiev G. B., Sc. D.

Gorbatsevich A. A., Sc. D.,

Full Member of the RAS

Gornev E. S., Sc. D.,

Corresponding Member of the RAS

Deputy Chief Editor

Gribov B. G., Sc. D.,

Corresponding Member of the RAS

Zaitsev N. A., Sc. D.

Kim A. K., Ph.D.

Kritenko M. I., Ph.D.

Petrichkovich Ya. Ya., Sc. D.

Sigov A. S., Sc. D.,

Full Member of the RAS

Stempkovskiy A. L., Sc. D.,

Full Member of the RAS

Chaplygin Yu.A., Sc. D.,

Full Member of the RAS

Shelepin N. A., Sc. D.,

Deputy Chief Editor

Enns V.I., Ph.D.

Editorial Staff Address

📍 12/1, Akademika Valieva street,
Zelenograd, Moscow 124460,
Russian Federation

☎ +7 495 229-70-43

✉ journal_EEM-3@mikron.ru

www.niime.ru/

zhurnal-mikroelektronika

The journal is published since 1965

Founder

“Molecular Electronics Research
Institute”, Stock Company

Editor’s Column 4

Development and Designing

S.V. Volobuev, V.G. Ryabtsev

Features of the implementation of RAM self-repair tools in the Spartan3e
FPGA 5

**S.V. Kalinichenko, Yu.S. Balashov, S.A. Belousov, A.S. Shnaider,
D.G. Kharin**

The method for nonlinearity minimization of digital-to-analog converter
resistor arrays by discrete laser correction 10

Processes and Technology

A.A. Konarev, D.A. Varlamov, B.G. Gribov

Synthesis of tetramethylammonium hydroxide concentrate using
cathodes of various structural materials 19

I.I. Amirov, M.O. Izyumov, A.N. Kupriyanov

In situ control of development of silicon surface roughness during etching
in a chlorine-containing plasma 26

Properties of Materials

N.A. Kuznetsova, V.I. Beklemyshev, B.G. Gribov

Effect of the acid photogenerator in the antireflective coating on the
profile of the photoresist elements 35

V.V. Chernyak, L.I. Sorokina, E.A. Lebedev, Y.I. Shilyaeva

Synthesis and thermal characterization of polydimethylsiloxane-CuO_x
nanocomposites 38

Mathematical simulation

**V.Yu. Mikhailov, E.Yu. Kotlyarov, I.A. Zubov, A.V. Nuykin,
A.S. Kravtsov**

Aspects of the transceiver device design for “Internet of things” 43

V.V. Bardushkin, Yu.I. Shilyaeva, V.B. Yakovlev

Modeling of the bulk density of the deformation energy in porous anodic
alumina filled with polyvinylidene fluoride 58

Abstracts 64

The journal has included in the number of publications recommended
for publication of articles by applicants for academic degrees of candidate
and doctor of Sciences №1969 by the all-Russian attestation Commission (НАС)

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Перед вами очередной 180-й выпуск научно-технического журнала «Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника».

Из номера в номер мы стараемся затрагивать только самые актуальные вопросы, прилагая все усилия, чтобы журнал оставался для вас интересным и полезным. Мы рады, что вы были с нами в 2020 году, и надеемся, что останетесь нашими авторами и читателями и в 2021.

В данном номере сделан акцент на таких ключевых разделах, как «Разработка и конструирование», «Процессы и технология», «Свойства материалов» и «Математическое моделирование».

Выпуск журнала представлен восемью оригинальными статьями, посвященными результатам актуальных научных исследований.

Номер открывается разделом «Разработка и конструирование», в котором рассмотрены особенности имплементации средств автоматического саморемонта ОЗУ в ПЛИС xc3s500e семейства Spartan3e. Также в данном разделе рассмотрен метод коррекции резисторных матриц цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) с использованием калибровочных наборов. Рассмотрена структура сегментированного 16-разрядного ЦАП и схема калибровочного набора.

В разделе «Процессы и технология» представлена экспериментальная работа по исследованию влияния материала катодов на получение концентрата тетраметиламмония гидроксида мембранным электролизом водного раствора хлорида тетраметиламмония. В этом же разделе приведены результаты исследования развития шероховатости поверхности Si в процессе ее травления в плазме Cl_2/Ar при низкой энергии ионов.

В разделе «Свойства материалов» авторами экспериментально показано, что введение фото-



генератора кислоты в композицию антиотражающего покрытия позволяет улучшить профиль полученных на нем элементов фоторезиста, а именно – формировать элементы без уширения у основания (footing). Также в этом разделе предложен способ получения нанокompозитов на основе силоксанового эластомера с равномерным распределением наночастиц CuO_x .

В заключительном блоке «Математическое моделирование» представлена статья по разработке приемопередатчика «Интернета Вещей», в которой сопоставлены стандарты экосистемы «Интернета Вещей», проведено моделирование приемопередающего тракта и тестирование отладочной платы. Также в разделе представлена работа по моделированию объемной плотности энергии деформации, обусловленной отличием термических коэффициентов линейного расширения компонентов, для композитов вида нановолокна поливинилиденфторида в тугоплавкой диэлектрической матрице анодного оксида алюминия.

Ждем новых текстов с творческими идеями!

С уважением,
главный редактор журнала,
академик РАН,

Г.Я. Красников

ОСОБЕННОСТИ ИМПЛЕМЕНТАЦИИ СРЕДСТВ САМОРЕМОНТА ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ В ПЛИС СЕМЕЙСТВА SPARTAN3E

Приведены особенности имплементации средств автоматического саморемонта ОЗУ в ПЛИС xc3s500e семейства Spartan3e. Спроектированные и изготовленные средства саморемонта ОЗУ позволят начать тестирование в реальных условиях для проверки проектных решений и организации серийного производства. Спроектированные средства обеспечат автоматический саморемонт 16-разрядного ОЗУ при четырехкратных отказах в разных информационных разрядах на этапе эксплуатации.

Ключевые слова: зеркалирование памяти, многократные отказы, имплементации проекта в ПЛИС, средства саморемонта.

Сведения об авторах:

Волобуев Сергей Васильевич, Волгоградский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26, e-mail: sergey-aspir14@yandex.ru

Рябцев Владимир Григорьевич, доктор технических наук, профессор, Волгоградский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26, e-mail: akim.onoke@mail.ru

МЕТОД ДИСКРЕТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ РЕЗИСТОРНЫХ МАТРИЦ ЦИФРО-АНАЛОГОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТИ

В данной работе рассмотрен метод коррекции резисторных матриц цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) с использованием калибровочных наборов. Рассмотрена структура сегментированного 16-разрядного ЦАП и схема калибровочного набора. Представлен алгоритм расчета корректировочных коэффициентов, основанный на прогнозировании передаточной характеристики с помощью математической модели ЦАП. Приведены результаты экспериментальных испытаний интегральных схем ЦАП, для настройки которых был применен данный метод.

Ключевые слова: сегментированный ЦАП, прецизионный ЦАП, R-2R матрица, нелинейность, калибровка.

Сведения об авторах:

Калиниченко Станислав Витальевич, магистр, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электронной техники», 394033, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 5, e-mail: kastos92@mail.ru

Балашов Юрий Степанович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, e-mail: faddey52@mail.ru

Белосов Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электронной техники», 394033, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 5, e-mail: besa@niiet.ru

Шнайдер Александр Сергеевич, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электронной техники», 394033, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 5, e-mail: alexscheider@hotmail.com

Харин Дмитрий Геннадьевич, магистр, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электронной техники», 394033, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 5, e-mail: rostovsky@niiet.ru

FEATURES OF THE IMPLEMENTATION OF RAM SELF-REPAIR TOOLS IN THE SPARTAN3E FPGA

The features of the implementation of automatic self-repair of RAM in the xc3s500e FPGA of the Spartan3e family are presented. Designed and manufactured RAM self-repair tools will allow you to start testing in real conditions to verify design solutions and organize mass production. The designed tools will provide automatic self-repair of 16-bit RAM with four-fold failures in different information bits during operation.

Keywords: memory mirroring, multiple failures, project implementation in FPGA, self-repair tools.

Data of authors:

Volobuev Sergey Vasilievich, Volgograd State Agrarian University, 26, pr. Universitetskoy, Volgograd, Volgograd Region, Southern Federal District, Russian Federation, 400002, e-mail: sergey-aspir14@yandex.ru

Ryabtsev Vladimir Grigorievich, doctor of technical sciences, professor, Volgograd State Agrarian University, 26, pr. Universitetskoy, Volgograd, Volgograd Region, Southern Federal District, Russian Federation, 400002, e-mail: akim.onoke@mail.ru

THE METHOD FOR NONLINEARITY MINIMIZATION OF DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTER RESISTOR ARRAYS BY DISCRETE LASER CORRECTION

In this paper, we consider a method of digital-to-analog converter (DAC) resistor arrays correcting by utilizing calibration kits. A structure of 16-bit DAC and calibration kit schematic are given. We then describe a correction coefficients calculation algorithm, which is based on transfer characteristic predictions using DAC mathematical model. We present experimental test results of DAC integrated circuits adjusted with this method.

Keywords: segmented DAC, precision DAC, R-2R ladders, nonlinearity, calibration.

Data of authors:

Kalinichenko Stanislav Vital'evich, master, design engineer of JSC Scientific Research Institute of Electronic Technology, 5, Starykh Bolshevikov str., Voronezh, Russia, 394033, e-mail: kastos92@mail.ru

Balashov Yuriy Stepanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor of Voronezh State Technical University, 20 letiya Oktyabrya st., 84, Voronezh, Russia, 394006, e-mail: faddey52@mail.ru

Belousov Sergey Alekseyevich, candidate of technical sciences, JSC Scientific Research Institute of Electronic Technology, 5, Starykh Bolshevikov str., Voronezh, Russia, 394033, e-mail: besa@niiet.ru

Shnaider Aleksandr Sergeevich, JSC Scientific Research Institute of Electronic Technology, 5, Starykh Bolshevikov str., Voronezh, Russia, 394033 e-mail: alexscheider@hotmail.com

Kharin Dmitriy Gennad'yevich, master, JSC Scientific Research Institute of Electronic Technology, 5, Starykh Bolshevikov str., Voronezh, Russia, 394033, e-mail: rostovsky@niiet.ru

ПОЛУЧЕНИЕ КОНЦЕНТРАТА ТЕТРАМЕТИЛАММОНИЯ ГИДРОКСИДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАТОДОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе представлены результаты применения катодов из различных конструкционных материалов для получения концентрата тетраметиламмония гидроксида мембранным электролизом водного раствора хлорида тетраметиламмония. Показано, что для получения концентрата тетраметиламмония гидроксида предлагается использовать в качестве катодного материала платинированный титан, характеризующийся высокой химической стойкостью в сильнощелочной среде, механической прочностью и низким перенапряжением выделения водорода при катодной поляризации, что может обеспечить получение продукта современного уровня качества.

Ключевые слова: катод, платинированный титан, тетраметиламмоний гидроксида, хлорид тетраметиламмония.

Сведения об авторах:

Конярев Александр Андреевич, доктор технических наук, Научно-исследовательский институт полупроводников и красителей, 141701, г. Долгопрудный Московской области, Лихачевский пр-д, д. 7, e-mail: lab32@niopik.ru

Варламов Денис Александрович, акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 12, стр. 1, e-mail: dvarlamov@niime.ru

Грибов Борис Георгиевич, доктор химических наук, профессор, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 12, стр. 1

IN SITU КОНТРОЛЬ РАЗВИТИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ ПРИ ТРАВЛЕНИИ В ХЛОРОСОДЕРЖАЩЕЙ ПЛАЗМЕ

Приведены результаты исследования развития шероховатости поверхности Si в процессе ее травления в плазме Cl_2/Ar при низкой энергии ионов. Контроль развития шероховатости осуществлялся *in situ* по величине сигнала отражения лазерного луча от поверхности Si в сочетании с измерениями шероховатости методом сканирующей электронной микроскопии. Показано, что по изменению отраженного сигнала можно регистрировать шероховатость поверхности от единиц до сотен нанометров. Обнаружено, что величина нанометровой шероховатости не зависит от содержания Ar (< 80% Ar) в плазме. Обсуждаются причины возникновения такой мелкомасштабной шероховатости, а также причины образования субмикронных структур на поверхности, возникновение которых можно охарактеризовать как проявление крупномасштабной шероховатости.

Ключевые слова: травление, хлорсодержащая плазма, контроль, шероховатость поверхности кремния.

Сведения об авторах:

Амиров Ильдар Искандерович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Ярославский филиал Физико-технологического института им. К.А. Валиева РАН, 150007, г. Ярославль, ул. Университетская, д. 21, e-mail: ildamirov@yandex.ru

Изымов Михаил Олегович, кандидат физико-математических наук, Ярославский филиал Физико-технологического института им. К.А. Валиева РАН, 150007, г. Ярославль, ул. Университетская, д. 21, e-mail: Mikhail-izumov@yandex.ru

Куприянов Александр Николаевич, Ярославский филиал Физико-технологического института им. К.А. Валиева РАН, 150007, г. Ярославль, ул. Университетская, д. 21, e-mail: shurik777@mail.ru

SYNTHESIS OF TETRAMETHYLAMMONIUM HYDROXIDE CONCENTRATE USING CATHODES OF VARIOUS STRUCTURAL MATERIALS

The research paper presents the results of using various cathode structural materials to produce a tetramethylammonium hydroxide concentrate by means of a membrane electrolysis of an aqueous solution of a tetramethylammonium chloride. It was shown that in order to produce a tetramethylammonium hydroxide concentrate, a platinum titanium is proposed to be used as a cathode material which is featured with a high chemical resistance in a strongly alkaline medium, a mechanical strength and a low stress of hydrogen release in the course of a cathode polarization – all of these allows producing a product of the required quality.

Keywords: cathode, platinum titanium, tetramethylammonium hydroxide, tetramethylammonium chloride.

Data of authors:

Konarev Alexandr Andreevich, doctor of technical sciences, Science and Research institute of Organic Intermediates and Dyes, 7, Likhachevsky proezd, Moscow region, Dolgoprudny, 141701, e-mail: lab32@niopik.ru

Varlamov Denis Alexandrovich, "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, Akademika Valieva street, 12/1, 124460, Zelenograd, Moscow, Russia, e-mail: dvarlamov@niime.ru

Gribov Boris Georgievich, doctor of chemical Sciences, Professor, "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, Akademika Valieva street, 12/1, 124460, Zelenograd, Moscow, Russia

IN SITU CONTROL OF DEVELOPMENT OF SILICON SURFACE ROUGHNESS DURING ETCHING IN A CHLORINE-CONTAINING PLASMA

The results of a study of the roughness development of the Si surface during its etching by the plasma of RF inductive discharge in a Cl_2/Ar mixture at a low energy (25, 50 eV) are presented. The roughness development was monitored *in situ* by the magnitude of the reflection signal of the laser beam from the Si surface in combination with measurements of roughness using scanning electron microscopy. It is shown that the change in the reflected signal from a surface can be used to study the development of surface roughness from nanometer to few hundred nanometers. It was found that the magnitude of the nanoscale roughness does not depend on the Ar content (< 80% Ar) in the plasma. The reasons for the appearance of such a small-scale roughness are discussed, as well as the reasons for the formation of submicron structures on the surface, the appearance of which can be characterized as a manifestation of large scale roughness.

Keywords: etching, chlorine-containing plasma, silicon surface roughness.

Data of authors:

Amirov Ildar Iskanderovich, doctor of Physical and Mathematical Sciences, Valiev Institute of Physics and Technology of Russian Academy of Sciences, Yaroslavl branch, 21, Universitetskaya, Yaroslavl, 150007, e-mail: ildamirov@yandex.ru

Izumov Mikhail Olegovich, candidate of Physical and Mathematical Sciences, Valiev Institute of Physics and Technology of Russian Academy of Sciences, Yaroslavl branch, 21, Universitetskaya, Yaroslavl, 150007, e-mail: Mikhail-izumov@yandex.ru

Kupriyanov Aleksandr Nikolaevich, Valiev Institute of Physics and Technology of Russian Academy of Sciences, Yaroslavl branch, 21, Universitetskaya, Yaroslavl, 150007, e-mail: shurik777@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ФОТОГЕНЕРАТОРА КИСЛОТЫ В АНТИОТРАЖАЮЩЕМ ПОКРЫТИИ НА ПРОФИЛЬ ЭЛЕМЕНТОВ, ФОРМИРУЕМЫХ В ФОТОРЕЗИСТЕ

Экспериментально показано, что введение фотогенератора кислоты в композицию антиотражающего покрытия позволяет улучшить профиль полученных на нем элементов фоторезиста, а именно – формировать элементы без уширения у основания (footing).

Ключевые слова: антиотражающее покрытие, фоторезист, фотогенератор кислоты.

Сведения об авторах:

Кузнецова Нина Александровна, доктор химических наук, Научно-исследовательский институт полупродуктов и красителей, 141701, г. Долгопрудный Московской области, Лихачевский проезд, д. 7, e-mail: nina.kuznetsova@niopik.ru,
Беклемышев Вячеслав Иванович, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 12/1, e-mail: vbeklemyshev@niime.ru,
Грибов Борис Георгиевич, доктор химических наук, профессор, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 12/1

ПОЛУЧЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНА И НАНОЧАСТИЦ CuO_x

Предложен способ получения нанокompозитов на основе силоксанового эластомера с равномерным распределением наночастиц CuO_x . Процесс отверждения силоксанового олигомера в присутствии наночастиц CuO_x и термические свойства нанокompозитов в интервале температур от -70°C до 550°C исследованы методом дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа. Обсуждается влияние наночастиц на температурные характеристики низкотемпературных фазовых переходов и термическую стабильность полимерной матрицы.

Ключевые слова: полимерный нанокompозит, наночастицы, полидиметилсилоксан, термическая стабильность, дифференциальная сканирующая калориметрия.

Сведения об авторах:

Черняк Владислав Владимирович, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», 105005, Москва, ул. Радио 23/9, стр. 2, вход со стороны ул. Бауманская 2-я, e-mail: mchernak.com@inbox.ru
Сорокина Лариса Ивановна, Институт перспективных материалов и технологий, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, д. 1, e-mail: larasork@gmail.com
Лебедев Егор Александрович, кандидат технических наук, Институт перспективных материалов и технологий, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, д. 1, e-mail: dr.beefheart@gmail.com
Шилиева Юлия Игоревна, кандидат химических наук, Институт перспективных материалов и технологий, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, д. 1, e-mail: shyliaeva@gmail.com

EFFECT OF THE ACID PHOTOGENERATOR IN THE ANTIREFLECTIVE COATING ON THE PROFILE OF THE PHOTORESIST ELEMENTS

It was experimentally shown that the introduction of acid photogenerator in the composition of antireflective coating can improve the profile of upper photoresist elements, particularly to obtain lithographic profiles without footing.

Keywords: antireflective coating, photoresist, acid photogenerator, footing.

Data of authors:

Kuznetsova Nina Aleksandrovna, Doctor of Chemical Sciences, Research institute of Organic Intermediates and Dyes, 7, Likhachevsky proezd, Moscow region, Dolgoprudny, 141701, e-mail: nina.kuznetsova@niopik.ru,
Beklemyshev Vyacheslav Ivanovich, "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, Akademia Valieva ulitsa, 12/1, Zelenograd, Moscow, Russia 124460, e-mail: vbeklemyshev@niime.ru,
Gribov Boris Georgievich, doctor of chemical Sciences, Professor, "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, Akademia Valieva ulitsa, 12/1, Zelenograd, Moscow, Russia 124460

SYNTHESIS AND THERMAL CHARACTERIZATION OF POLYDIMETHYLSILOXANE- CuO_x NANOCOMPOSITES

We report the synthesis and characterization of elastomeric nanocomposites based on polydimethylsiloxane matrix with uniformly distributed CuO_x nanoparticles. We have analyzed the thermal behavior of nanocomposites in the temperature range from -70°C to 500°C using differential scanning calorimetry and thermogravimetric analysis. The effect of CuO_x nanoparticles on temperature characteristics of low-temperature phase transitions and the thermal stability of polymer matrix is discussed.

Keywords: polymer nanocomposite, nanoparticles, polydimethylsiloxane, thermal stability, differential scanning calorimetry.

Data of authors:

Chernyak Vladislav Vladimirovich, National Research University of Electronic Technology, 124498, Moscow, Zelenograd, Id. 1, Shokin Square; Federal State Unitary Enterprise "I. P. Bardin Central Research Institute of Ferrous Metallurgy", 105005, Moscow, Radio 23/9 str., p. 2, e-mail: mchernak.com@inbox.ru
Sorokina Larisa Ivanovna, National Research University of Electronic Technology, Id. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, e-mail: larasork@gmail.com
Lebedev Egor Aleksandrovich, candidate of technical sciences, Research University of Electronic Technology, Id. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, e-mail: dr.beefheart@gmail.com
Shilyaeva Yulia Igorevna, candidate of chemical Sciences, Research University of Electronic Technology, Id. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, e-mail: shyliaeva@gmail.com

АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ»

Работа посвящена разработке приемопередатчика для «Интернета Вещей». В статье приведен обзор существующих стандартов экосистемы «Интернета Вещей». Отдельно проведен обзор, тестирование отладочной платы и моделирование приемопередатчика в соответствии со стандартом NB-IoT. На основе тестирования отладочной платы получены тестовые сигналы, используемые для верификации модели приемопередатчика. В рамках моделирования определены параметры узлов приемопередатчика для создания будущей системы на кристалле.

Ключевые слова: Интернет Вещей, NB-IoT, LTE, отладочная плата, 3GPP, приемопередатчик, моделирование.

Сведения об авторах:

Михайлов Виктор Юрьевич, Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»,
124460, Россия, Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, 12/1,
e-mail: vmikhaylov@niime.ru

Котляров Евгений Юрьевич, Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»,
124460, Россия, Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, 12/1,
e-mail: ekotlyarov@niime.ru

Зубов Игорь Александрович, Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»,
124460, Россия, Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, 12/1,
e-mail: izubov@niime.ru

Нуйкин Андрей Валерьевич, Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»,
124460, Россия, Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, 12/1,
e-mail: anuykin@niime.ru

Кравцов Александр Сергеевич, Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»,
124460, Россия, Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, 12/1,
e-mail: akravtsov@niime.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМАЦИИ В АНОДНОМ ОКСИДЕ АЛЮМИНИЯ С ПОРАМИ, ЗАПОЛНЕННЫМИ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДОМ

Для композитов вида нановолокна поливинилиденфторида в тугоплавкой диэлектрической матрице анодного оксида алюминия решается задача моделирования объемной плотности энергии деформации, обусловленной отличием термических коэффициентов линейного расширения компонентов. Проведены численные расчеты указанной энергетической характеристики, учитывающие структуру рассматриваемого композитного материала и объемное содержание нановолокон в матрице.

Ключевые слова: моделирование, анодный оксид алюминия, поливинилиденфторид, матричный композит, термоупругие характеристики, оператор концентрации напряжений, объемная плотность энергии деформации.

Сведения об авторах:

Бардушкин Владимир Валентинович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедр «Высшая математика №2» и «Системная среда качества» МИЭТ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 124498, Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, e-mail: bardushkin@mail.ru

Шыляева Юлия Игоревна, кандидат химических наук, доцент Института перспективных материалов и технологий МИЭТ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 124498, Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, e-mail: shyliaeva@gmail.com

Яковлев Виктор Борисович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, начальник отдела Института нанотехнологий микроэлектроники РАН, профессор «Национального исследовательского университета «Московский институт электронной техники», e-mail: yakvb@mail.ru

ASPECTS OF THE TRANSCIEVER DEVICE DESIGN FOR "INTERNET OF THINGS"

This article is devoted to the development of the "Internet of Things" transceiver. The article provides an overview of the existing standards of the Internet of Things ecosystem. A separate review, testing of the evaluation board and simulation of the transceiver device in accordance with the NB-IoT standard are carried out. During testing of the evaluation board, test signals were obtained, then they were used for verification of the transceiver model. As part of the simulation, the developing transceiver module's nodes parameters were determined.

Keywords: Internet of Things, NB-IoT, LTE, evaluation board, 3GPP, transceiver, transceiver modeling.

Data of authors:

Mikhailov Victor Yurievich, "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, 12/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow 124460, Russia, e-mail: vmikhaylov@niime.ru

Kotlyarov Evgeny Yurievich, "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, 12/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow 124460, Russia, e-mail: ekotlyarov@niime.ru

Zubov Igor Aleksandrovich, "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, 12/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow 124460, Russia, e-mail: izubov@niime.ru

Nuykin Andrey Valerievich, "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, 12/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow 124460, Russia, e-mail: anuykin@niime.ru

Kravtsov Aleksandr Sergeevich, "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, 12/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow 124460, Russia, e-mail: akravtsov@niime.ru

MODELING OF THE BULK DENSITY OF THE DEFORMATION ENERGY IN POROUS ANODIC ALUMINA FILLED WITH POLYVINYLIDENE FLUORIDE

For the nanocomposites based on polyvinylidene fluoride nanofibers embedded in the refractory dielectric matrix of anodic alumina, we have solved the problem of modeling the bulk density of the deformation energy resulted from the difference in the thermal coefficients of linear expansion of the components. Numerical calculations of the indicated energy characteristic have been carried out, taking into account the structure of the considered nanocomposite material and the volumetric content of nanofibers in the matrix.

Keywords: modeling, anodic alumina, polyvinylidene fluoride, matrix composite, thermoelastic properties, stress concentration operator, bulk density of the deformation energy.

Data of authors:

Bardushkin Vladimir Valentinovich, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, docent, Professor departments of "Higher mathematics No. 2" and "System environment" quality MIET, "National Research University of Electronic Technology", Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, e-mail: bardushkin@mail.ru

Shyliaeva Yulia Igorevna, candidate of chemical Sciences, associate Professor, "National Research University of Electronic Technology", Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, e-mail: shyliaeva@gmail.com

Yakovlev Viktor Borisovich, doctor of physico-mathematical Sciences, Professor Russian Academy of Sciences, head of Department of the Institute of nanotechnology of microelectronics of the RAS, Professor of "National Research University of Electronic Technology", e-mail: yakvb@mail.ru

**ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА. Серия 3.
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ©**

Перерегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций 14 августа 2013 г., ПИ №ФС77-55092.

Журнал издается 4 раза в год с 1965 года.
Подписано в печать 28.12.2020.

Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука»
(Типография «Наука»)
121099, Москва, Шубинский пер., 6

Тираж 500 экз. Цена договорная.

© При перепечатке ссылка на журнал «ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА. Серия 3. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА» обязательна. Мнение редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей. Рукописи рецензируются, но не возвращаются. Срок рассмотрения рукописей – 5 недель.

ИЗДАТЕЛЬ

ФГУП «Издательство «Наука»
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90
E-mail: info@naukaran.com
<https://naukapublishers.ru>
<https://naukabooks.ru>